This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

5508
99.5

Barbet - Calcul Mécanique d'une Machine Aérienne - 1899

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Digitized by Google

Eng 5508.99.5

HARVARD

BOUGHT FRON
F
PETER PA

FOR FRENCH WORKS A
AND ON CHEMIST
APPLIED TO

GODFREY LOWEL

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE
Fondée en 1801
RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR ORDONNANCE DU 21 AVRIL 1824
Rue de Rennes, 44, à Paris

RAPPORT

FAIT PAR

M. A. BARBET

AU NOM DU COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

SUR LE PRIX PROPOSÉ

POUR UNE

ÉTUDE DES COEFFICIENTS NÉCESSAIRES

AU

CALCUL MÉCANIQUE D'UNE MACHINE AÉRIENNE

RECHERCHES DE

M. CANOVETTI, INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

et de M. l'Abbé LE DANTEC

EXTRAIT DU *BULLETIN* DE JUILLET 1899

PARIS
TYPOGRAPHIE CHAMEROT ET RENOUARD
19, RUE DES SAINTS-PÈRES, 19

1899

Digitized by Google

Eng 5508.99.5

HARVARD COLLEGE LIBRARY
DEGRAND FUND
Oct. 22, 1925

Digitized by Google

RAPPORT

FAIT

AU NOM DU COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

PAR

M. BARBET

Parmi les prix ressortissant au Comité des Arts mécaniques, le Conseil de notre Société a donné le programme d'un prix pour une *étude essentiellement expérimentale* ayant pour but la détermination des réactions qui se produisent aux divers points d'une surface se mouvant dans l'air dans des circonstances variées de nature, de forme et de vitesse.

La détermination de la résistance qu'oppose l'air aux surfaces en mouvement paraît, en effet, être le point de départ de l'étude de la navigation aérienne. Déjà plusieurs ingénieurs ont tenté la solution de ce problème soit en plaçant les surfaces étudiées à l'extrémité d'une perche horizontale tournant autour d'un axe vertical, soit en notant la vitesse de chute dans l'eau de solides de formes déterminées; mais aucune de ces expériences n'a été faite dans des conditions tout à fait satisfaisantes de précision.

Le prix proposé par notre Société a donné un nouvel élan à ces recherches et plusieurs candidats présentent des travaux exécutés en vue de ce prix. Deux seulement se sont maintenus dans les termes du programme : ce sont M. Canovetti et M. l'abbé Le Dantec.

La résistance que l'air oppose au mouvement des surfaces peut être mesurée en attachant celles-ci à un chariot descendant librement sur un rail incliné. Si le chariot et sa surface d'essai n'éprouvaient aucune résistance, leur vitesse, à un moment donné, résulterait seulement de la hauteur de leur chute. En réalité, la vitesse observée est plus petite : le frottement de roulement du chariot, la résistance opposée par l'air au mouvement de ce chariot et de la surface d'essai sont des forces qui diminuent l'action de la pesanteur et qui, à un moment donné, arrivent à l'égaler, puisqu'elles

(1) Commissaires : MM. Hirsch, Imbs, Masson et Barbet, rapporteur.

Digitized by Google

croissent avec la vitesse. A ce moment, le chariot prend un mouvement uniforme, et l'on peut dire que, pour cette vitesse uniforme, le total des résistances mentionnées est égal au poids du chariot et de la surface expérimentée. Un essai préliminaire avec le chariot seul permet de déterminer ce qui appartient au chariot dans le total des résistances, et on obtient, par différence, ce qui revient à la surface d'essai.

M. *Canovetti* a suivi cette méthode, mais il n'a pas réalisé l'expérience dans des conditions suffisantes d'exactitude. Au lieu du plan incliné régulier, il emploie un fil de cuivre de 3 millimètres de diamètre et de 370 mètres de longueur, dont il attache une extrémité dans une plaine et l'autre au flanc d'une colline. Dans les expériences faites, la partie inférieure de cette chaînette s'est trouvée naturellement beaucoup moins inclinée que sa partie supérieure et a même présenté, dans certains cas, une contre-pente qui ralentissait la marche du chariot. C'est pourquoi M. Canovetti ne tint pas compte des derniers 90 mètres de parcours. — D'autre part, il détermina les résistances dues au chariot seul en le faisant rouler sur un fil moins long et beaucoup moins incliné que le fil d'essai : la suppression de la surface expérimentée fait, en effet, disparaître la principale résistance opposée au mouvement du chariot et, pour retrouver des vitesses d'expérience, il faut réduire la pente du fil. Ces essais ont semblé indiquer que la résistance opposée au mouvement du chariot seul était proportionnelle à sa vitesse.

La mesure de cette résistance est une première cause d'erreur; en outre, le chariot roulant sur un long fil flexible lui imprime des flèches variables à tout instant et changeant encore, à chaque expérience, avec le poids du chariot et sa vitesse. Pour mesurer cette vitesse, M. Canovetti s'est contenté de lire sur un chronomètre l'instant du départ du chariot et celui de son passage devant un mât placé à 90 mètres du point d'attache du fil dans la plaine. La vitesse a été déterminée en divisant les 280 mètres parcourus par le chariot par le temps écoulé entre les deux lectures. En réalité, la hauteur verticale d'où le mobile est tombé a été altérée par les flèches du fil; en outre, la vitesse a varié à chaque instant en partant de zéro, et la moyenne prise dans l'expérience ne peut être qu'une approximation. Toutes ces imperfections semblent difficiles à corriger et enlèvent aux résultats obtenus le caractère de précision qu'on exige aujourd'hui dans les expériences.

Sous ces réserves, les expériences de M. Canovetti ont donné des résultats intéressants et il est à désirer qu'elles soient reprises avec plus de précision

Digitized by Google

dans la mesure des vitesses et surtout avec un chemin de roulement rigide, à l'abri des courants d'air, qui doivent troubler la marche d'un chariot léger et de grande surface.

M. Canovetti a employé, dans ses essais, des surfaces planes, rondes et rectangulaires, et a trouvé que la résistance de l'air, ramenée à 1 mètre de surface plane et à la vitesse de 1 mètre par seconde, était d'environ 80 grammes pour le cercle et de 90 grammes pour le rectangle.

Un cône droit de 1,5 de hauteur pour 1 de base, placé en poupe à l'arrière du cercle, a ramené la résistance à 60 grammes.

Une demi-sphère, placée en proue à l'avant du cercle, a réduit la résistance à $22^{gr},5$.

Enfin, en plaçant à l'avant du cercle une proue formée d'un cône droit d'une hauteur double du diamètre de la base, et, à l'arrière, une poupe formée d'un cône droit d'une hauteur égale au diamètre de la base, la résistance est tombée à 15 grammes, soit à 1/5 de la résistance primitive.

M. Canovetti a fait encore des essais sur des solides ayant la forme du ballon de Chalais en les garnissant de filets divers. On trouvera dans son mémoire les résultats de ces expériences.

M. *l'abbé Le Dantec* a employé, pour la solution du problème mis au concours, une méthode fort simple, qu'il avait déjà soumise à notre Société, et pour laquelle un prix de 500 francs lui a été décerné en 1893.

La surface expérimentée est traversée par un fil vertical servant de guide; en la laissant tomber, elle prend d'abord un mouvement accéléré; puis la résistance de l'air, croissant avec la vitesse, ralentit ce mouvement, qui devient uniforme quand cette résistance est égale au poids de la surface. A partir de ce moment, le poids de la surface, qui tombe uniformément, mesure exactement la résistance opposée par l'air à son mouvement, pour la vitesse uniforme avec laquelle la surface continue de descendre.

La surface essayée étant parfaitement équilibrée, on peut négliger le frottement de cette surface sur la tige servant de guide; son poids, son étendue sont des quantités faciles à mesurer avec précision. Il en est de même du temps de chute, grâce à un enregistreur électrique imaginé par M. l'abbé Le Dantec. Une bande de papier se déroule par un mouvement d'horlogerie et, sur cette bande, viennent, par une transmission électrique, s'imprimer les oscillations d'un pendule battant la seconde. D'autre part les choses sont disposées de telle sorte que l'ouverture du déclic détermi-

Digitized by Google

nant à volonté la chute de la surface d'expérience donne naissance à un courant électrique actionnant une roue à molettes qui marque sur la bande de papier une ligne de points. La course est limitée, suivant les besoins de l'expérience, par un buttoir et quand, dans sa chute, la surface vient en contact avec ce buttoir, le courant électrique qui s'était établi depuis le départ s'arrête, et la cessation du pointillé qu'il marquait sur la bande de papier indique le moment précis d'arrivée.

Ainsi, l'opérateur peut faire varier la hauteur de chute de façon qu'elle s'opère successivement en une, ou deux, ou trois secondes, etc. ; et, par différences, il a les espaces parcourus pendant chacune des secondes successives.

M. l'abbé Le Dantec nous a présenté les bandes de papier obtenues dans ses expériences. L'exactitude des résultats obtenus est vérifiée par leur parfaite concordance : ainsi, entre plusieurs expériences successives ayant pour but de rechercher la hauteur d'où tombe une surface en plusieurs secondes, les écarts n'atteignent pas un centimètre.

C'est dans la chapelle du Conservatoire des arts et métiers que M. l'abbé Le Dantec a pu faire avec fruit ses intéressantes opérations, grâce à la hauteur de la nef. Ses travaux lui ont donné les résultats suivants :

1° Un faible courant d'air, causé par le déplacement d'une personne dans la nef, suffit pour altérer considérablement les expériences; ce qui indique qu'elles doivent se faire dans une enceinte fermée, mais de suffisante étendue pour que les déplacements de l'air rencontré par la surface étudiée ne soient pas gênés par les murs;

2° Une surface carrée et plane d'un mètre carré d'étendue éprouve, de la part de l'air, quand elle parcourt un mètre par seconde, une résistance de 81 grammes;

3° M. l'abbé Le Dantec a expérimenté ensuite deux surfaces planes ayant également un mètre carré d'étendue, l'une ronde, la seconde triangulaire. Il a reconnu que la résistance de l'air était différente pour ces surfaces et, en rapportant ces résistances à la longueur de leurs périmètres, il est arrivé à établir que la résistance de l'air varie avec la forme de la surface et est proportionnelle à la longueur des contours des surfaces. Ce résultat n'avait pas encore été énoncé;

4° Pour des vitesses variant autour d'un mètre par seconde, M. l'abbé Le Dantec a vérifié la loi de proportionnalité des résistances au carré des vitesses.

Digitized by Google

La méthode employée par M. l'abbé Le Dantec pour la solution du problème auquel vous avez réservé un prix nous a paru parfaite. Nous regrettons seulement que les circonstances n'aient pas permis à l'expérimentateur de jouir des délais nécessaires pour faire de plus nombreuses expériences. Il eût été notamment intéressant de faire varier la vitesse de mouvement des surfaces dans des limites plus étendues, d'étudier les effets de l'inclinaison des surfaces planes, de rechercher l'action des proues et des poupes mises en avant ou en arrière de ces surfaces, etc. A ce point de vue, les expériences n'ont pas été suffisamment étendues.

En conséquence, la Société d'Encouragement accorde la plus grande partie du prix de 2000 francs, soit 1 700 francs, à M. l'abbé Le Dantec.

Elle accorde également à M. l'ingénieur Canovetti une médaille de vermeil; enfin, elle décide l'impression, dans son *Bulletin*, du résumé des mémoires de M. Canovetti et de M. l'abbé Le Dantec.

Signé : Barbet, *rapporteur*.

Digitized by Google

RECHERCHES SUR LA RÉSISTANCE DE L'AIR

EXPÉRIENCES FAITES DANS LA CHAPELLE DES ARTS ET MÉTIERS, en septembre 1898,
par **M. l'abbé Le Dantec.**

§ 1. PRINCIPE

Tout corps qui tombe accélère sa chute; soit donc une surface quelconque, traversée par un tube normal à son plan, lequel tube glisse sur un fil métallique bien tendu verticalement.

Cette surface accélérera sa chute pendant quelque temps; mais, la résistance de l'air grandissant avec la vitesse, il arrivera certainement un moment où elle deviendra égale au *poids* de la surface.

A partir de ce moment la chute deviendra *régulière*. C'est le cas du parachute.

Il suffit donc de constater que la chute de la surface est devenue régulière, de connaître sa vitesse et son poids, pour pouvoir dire sans l'intervention d'aucun calcul:

Telle surface, parcourant tel espace à la seconde, éprouve de la part de l'air telle résistance, laquelle n'est autre que son poids.

§ 2. EXPÉRIENCES DE 1893

Les expériences que j'avais l'honneur de vous présenter en 1893, ayant été faites dans une salle ne mesurant guère que $3^m,50$ de hauteur, n'étaient pas concluantes. La résistance de 106 grammes, qu'elles m'indiquaient pour 1 mètre carré parcourant 1 mètre à la seconde, était évidemment beaucoup trop grande. A l'approche du plancher, dans la quatrième seconde de chute, l'air, ne pouvant fuir, faisait matelas, et la vitesse de chute se trouvait régularisée trop tôt.

D'ailleurs, comme moyen de mesurer l'espace parcouru dans chaque seconde, je n'avais employé, dans ces expériences, que le jugement de l'oreille appréciant le synchronisme du choc de la surface sur le curseur et du coup d'un métronome battant la seconde.

(1) Voir p. 3 le Rapport de *M. Barbet.*

Digitized by Google

La résistance de 106 grammes ne pouvait donc être le coefficient vrai de la résistance de l'air.

§ 3. EXPÉRIENCES DE 1898

Encouragé par votre haute approbation, je construisis alors un *enregistreur électrique*, pouvant consigner sur un papier la durée exacte de la chute; mais j'ai dû attendre cinq ans pour trouver un local assez vaste et assez élevé pour appliquer sérieusement ma méthode, à l'aide de cet enregistreur.

Au mois de juin dernier, M. Appel, membre de l'Institut, ayant eu la bonté de parler pour moi à son collègue M. le colonel Laussedat, le savant directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, j'ai pu, grâce à l'extrême obligeance de MM. Masson et Tresca, qui ont mis à ma disposition leur chapelle, leurs piles et leurs ouvriers si intelligents et si habiles, faire des expériences sérieuses.

L'organisation matérielle, qui a exigé beaucoup de tâtonnements, a malheureusement absorbé les deux mois de juillet et d'août; de sorte que je n'ai pu utiliser ce local presque idéal que pendant le mois de septembre.

La nécessité d'organiser le service des différents cours du Conservatoire des Arts et Métiers a seule mis un terme obligatoire à la parfaite complaisance de ces messieurs.

Mes expériences ont donc dû prendre fin avec les vacances, et c'est pourquoi je n'ai pas pu, comme je l'aurais désiré, prier quelques-uns d'entre vous de me faire l'honneur d'y assister.

Mais l'enregistreur ayant imprimé tous les résultats, je puis cependant vous donner une idée suffisante des résultats intéressants que j'ai obtenus.

§ 4. ENREGISTREUR ÉLECTRIQUE ET DÉTAIL DES EXPÉRIENCES

La figure ci-jointe (fig. 1) avec la légende qui l'accompagne permettent de suivre les dispositions que j'ai prises dans mes expériences et en fait comprendre le fonctionnement; nous allons les compléter par quelques détails pratiques.

Pour éviter le très grave ennui de se servir d'une échelle pour remonter la surface jusqu'aux crochets du suspenseur, deux moyens se présentent.

1er *moyen*. — Le suspenseur étant à une hauteur fixe, on peut, à l'aide de roseaux de 3 mètres s'emmanchant l'un sur l'autre par des douilles, pousser le curseur et la surface ensemble, jusqu'à ce que le godet conique de celle-ci s'agrafe de lui-même sur les crochets du suspenseur. La surface restant alors en place, on rabaisse le curseur à la hauteur voulue pour la longueur de chute désirée.

L'extrémité du premier roseau porte une fourche à targette qui, engagée sur le fil directement, permet de faire cette opération très facilement.

Digitized by Google

Avec ce système, nous avons pu faire un très grand nombre d'expériences en peu de temps.

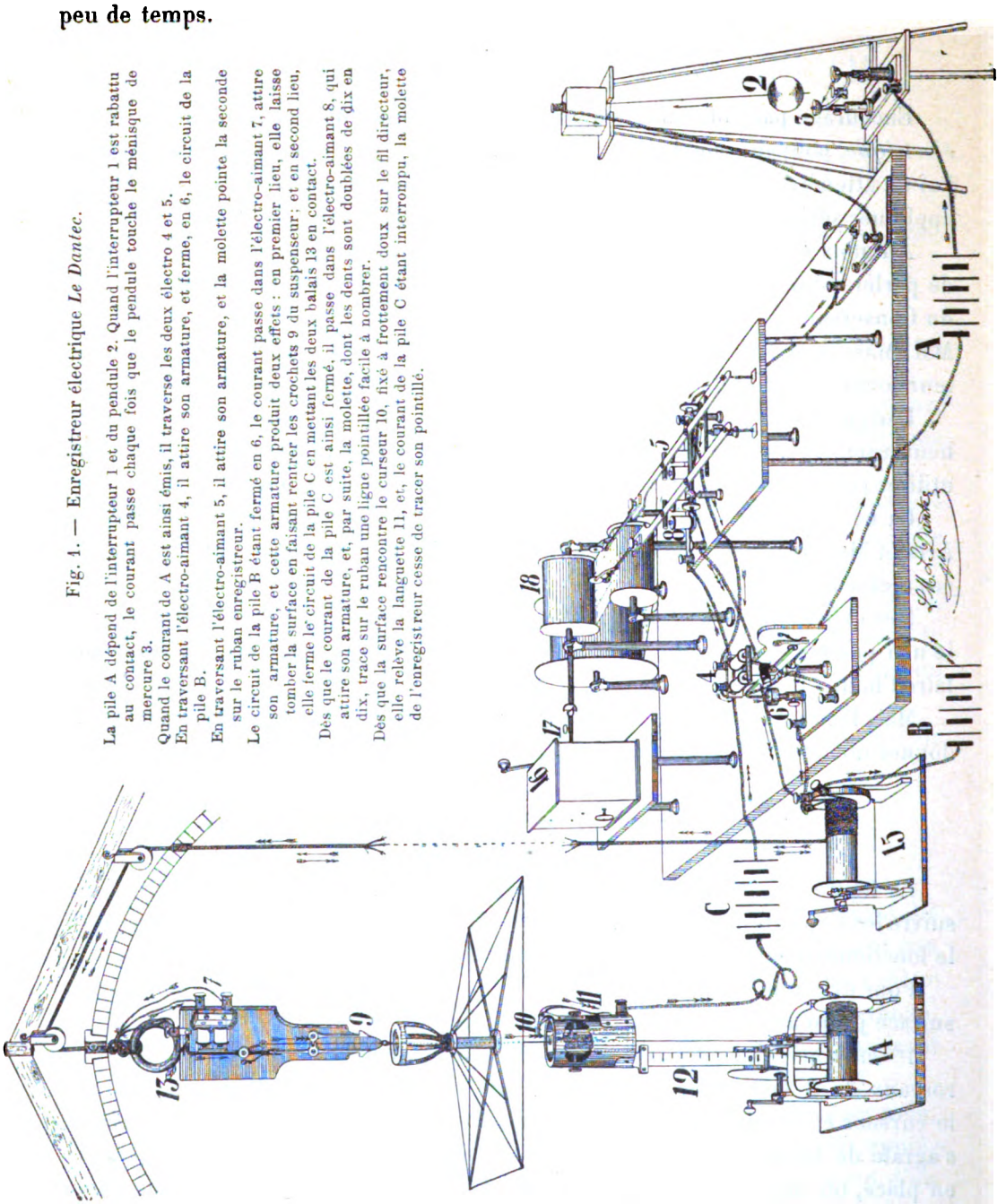

Fig. 1. — Enregistreur électrique *Le Dantec*.

La pile A dépend de l'interrupteur 1 et du pendule 2. Quand l'interrupteur 1 est rabattu au contact, le courant passe chaque fois que le pendule touche le ménisque de mercure 3.

Quand le courant de A est ainsi émis, il traverse les deux électro 4 et 5.

En traversant l'électro-aimant 4, il attire son armature, et ferme, en 6, le circuit de la pile B.

En traversant l'électro-aimant 5, il attire son armature, et la molette pointe la seconde sur le ruban enregistreur.

Le circuit de la pile B étant fermé en 6, le courant passe dans l'électro-aimant 7, attire son armature, et cette armature produit deux effets : en premier lieu, elle laisse tomber la surface en faisant rentrer les crochets 9 du suspenseur ; et en second lieu, elle ferme le circuit de la pile C en mettant les deux balais 13 en contact.

Dès que le courant de la pile C est ainsi fermé, il passe dans l'électro-aimant 8, qui attire son armature, et, par suite, la molette, dont les dents sont doublées de dix en dix, trace sur le ruban une ligne pointillée facile à nombrer.

Dès que la surface rencontre le curseur 10, fixé à frottement doux sur le fil directeur, elle relève la languette 11, et, le courant de la pile C étant interrompu, la molette de l'enregistreur cesse de tracer son pointillé.

2e *moyen*. — Les roseaux sont malheureusement flexibles, et, pour des hauteurs de 10 mètres, on ne pourrait guère s'en servir.

Digitized by Google

Dans ce cas, les deux treuils 14 et 15 permettront encore d'éviter l'ennui des échelles. A l'aide de ces treuils, en effet, on fera monter et descendre le suspenseur 9, comme on le voudra. Ainsi, on pourra l'abaisser à une hauteur accessible à l'aide des roseaux, agrafer la surface, et la remonter ensuite avec le suspenseur à la hauteur voulue. Un point de repère marqué sur le fil, du côté du treuil 15, dira quand la surface sera remontée à cette hauteur normale.

Pour déterminer la chute et l'enregistrer, on déclenche le moteur 16 et on ferme le courant de la pile A en 1.

Quand la chute s'est effectuée, on embraye de nouveau le moteur 15; on relève l'interrupteur 1; on desserre la vis 17, pour rendre le cylindre 18 libre, et on dégage le ruban pour lire le diagramme.

A l'aide de cet enregistreur électrique, les expériences peuvent se faire avec une précision remarquable.

Nous avons pu, par exemple, dans des conditions de calme convenables, constater les variations produites dans la durée de la chute par un centimètre et même par un demi-centimètre de variation dans la hauteur de chute.

Examinez, par exemple, les diagrammes de la *série I*, dans laquelle nous recherchons par tâtonnements l'espace exact que parcourt en une seconde une surface d'un demi-mètre carré pesant 52gr,40. On y voit que :

1°	avec	80	centimètres,	la chute a duré.	. . . . .	1,40	secondes.
2°	—	70	—	—	. . . . .	1,33	—
3°	—	60	—	—	. . . . .	1,16	—
4°	—	50	—	—	. . . . .	0,96	—
5°	—	51	—	—	. . . . .	1,14	—
6°	—	52	—	—	. . . . .	1,07	—
7°	—	51	—	—	. . . . .	0,97	—
8°	—	51cents,5		—	. . . . .	1,00	—

Nous joignons à l'appui de ce tableau les diagrammes imprimés par les appareils enregistreurs (fig. 2).

Cette série remarquable montre bien, encore une fois, avec quelle précision on pourra faire cette étude expérimentale quand on disposera d'un local à l'abri des *courants d'air*, et que l'on emploiera l'enregistreur électrique, *perfectionné* conformément aux indications fournies par l'expérience.

Malheureusement, toutes les expériences n'ont pas pu être faites dans ces conditions de calme atmosphérique. L'on était, en effet, souvent gêné par des visiteurs qui, en ouvrant à contretemps les grandes portes de la chapelle, y produisaient des vagues qui troublaient la chute tantôt pour l'accélérer, tantôt pour la retarder.

Digitized by Google

Pour nous assurer de la réalité de cette cause de trouble, nous l'avons produite à dessin, et elle s'est toujours manifestée par des variations que nous ne constations pas quand tout était calme dans la nef.

Indépendamment des grands troubles ainsi occasionnés par la brusque ouverture des portes, il y avait des troubles moins graves produits par les courants d'air provenant des fermetures défectueuses et dépendant de l'intensité du vent à l'extérieur.

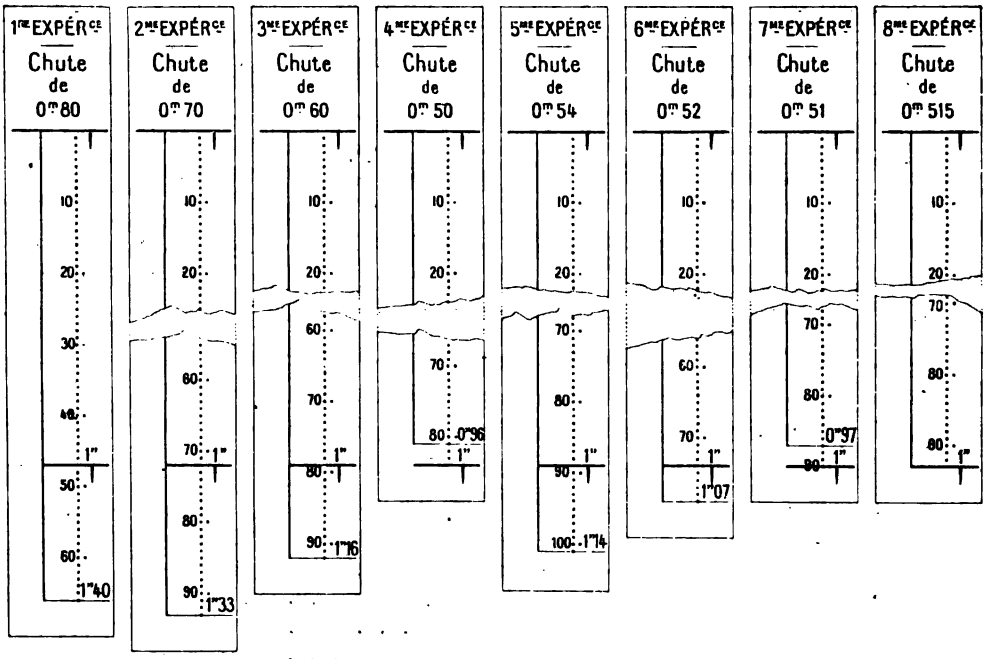

Fig. 2. — Recherche de l'espace exact parcouru en une seconde par une surface d'un demi-mètre carré pesant 52gr,40.

Quand ces troubles se manifestaient, je répétais souvent la même chute pour trouver une moyenne.

Ceci prouve que les expériences que l'on a tentées à la Tour Eiffel, en se servant de ma méthode expérimentale, n'ont pu donner aucun résultat sérieux. Si l'air est le moindrement en mouvement, sa vitesse et sa direction inconnues introduisent dans la question des facteurs inanalysables.

J'ajoute qu'un enregistreur électrique est également indispensable.

Sans le secours de cet appareil, il est impossible d'analyser la chute d'une surface seconde par seconde, et par conséquent de préciser quelle est la vitesse régulière qui produit une résistance égale à tel poids de la surface.

Je ne m'étonne donc pas que ces expérimentateurs en plein vent, non seule-

Digitized by Google

ment n'ont pas pu assigner un chiffre au coefficient de résistance de l'air, mais ont trouvé un résultat faux.

Dans le Mémoire que je vous avais soumis, j'avais parlé d'une surface de 1 mètre carré ronde, carrée et triangulaire; et le compte rendu que j'ai vu de leurs expériences dit qu'ils n'ont trouvé, pour ces trois espèces de surfaces, que des différences insignifiantes. Comment ont-ils procédé? Je n'en sais rien; mais, comme vous le verrez, les différences de résistance montrent qu'elle grandit avec le périmètre.

Je le repète donc, les expériences faites à la Tour Eiffel n'ont pas pu être exactes.

§ 5. SYNTHÈSE DES 286 EXPÉRIENCES

J'avais préparé quatre surfaces :

Une surface d'un demi-mètre carré, *carrée* et plane, pesant $52^{gr},40$ et trois autres surfaces de 1 mètre carré, l'une *ronde*, l'autre *carrée* et la troisième *triangulaire*. La ronde, la plus lourde des trois, pesait 269 grammes, et je me proposais de donner exactement le même poids aux deux autres, afin de pouvoir comparer, sans calcul, les résistances qu'elles rencontreraient de la part de l'air.

Sachant, d'après les expériences défectueuses que j'avais faites il y a dix ans, que le coefficient devait se trouver aux environs de 100 grammes, je mis tout d'abord à l'étude la surface d'un demi-mètre carré qui, ne pesant que $52^{gr},40$, me faisait espérer une indication.

Série I. — Les expériences de la série I ont montré, qu'à partir de la quatrième seconde, la chute est devenue sensiblement régulière pour une vitesse de $1^{m},12$ à la seconde.

J'ai donc pu en conclure : qu'un demi-mètre carré qui parcourt $1^{m},12$ à la seconde éprouve, de la part de l'air, une résistance de $52^{gr},40$. Cette première série d'expériences me confirma dans l'idée que le coefficient de l'air devait se trouver aux environs de 100 grammes.

En effet, si l'on admet, comme le raisonnement l'indique, que la résistance est proportionnelle à la surface, nous en conclurons qu'une surface de 1 mètre carré qui parcourrait $1^{m},12$ à la seconde éprouverait de la part de l'air une résistance de $104^{gr},80$. Si donc la vitesse était de 1 mètre au lieu de $1^{m},12$, la surface de 1 mètre carré éprouverait certainement moins de $104^{gr},80$ de résistance. Je ne pouvais donc espérer trouver le coefficient de résistance de l'air avec mes trois surfaces qui, toutes les trois, pesaient plus de 200 grammes.

C'est pourquoi j'ai interrompu mes expériences pour fabriquer une surface de 1 mètre carré aussi légère que possible.

Digitized by Google

Série II. — C'est avec cette nouvelle surface, qui ne pesait que 98 grammes, que j'ai fait les expériences de la série II.

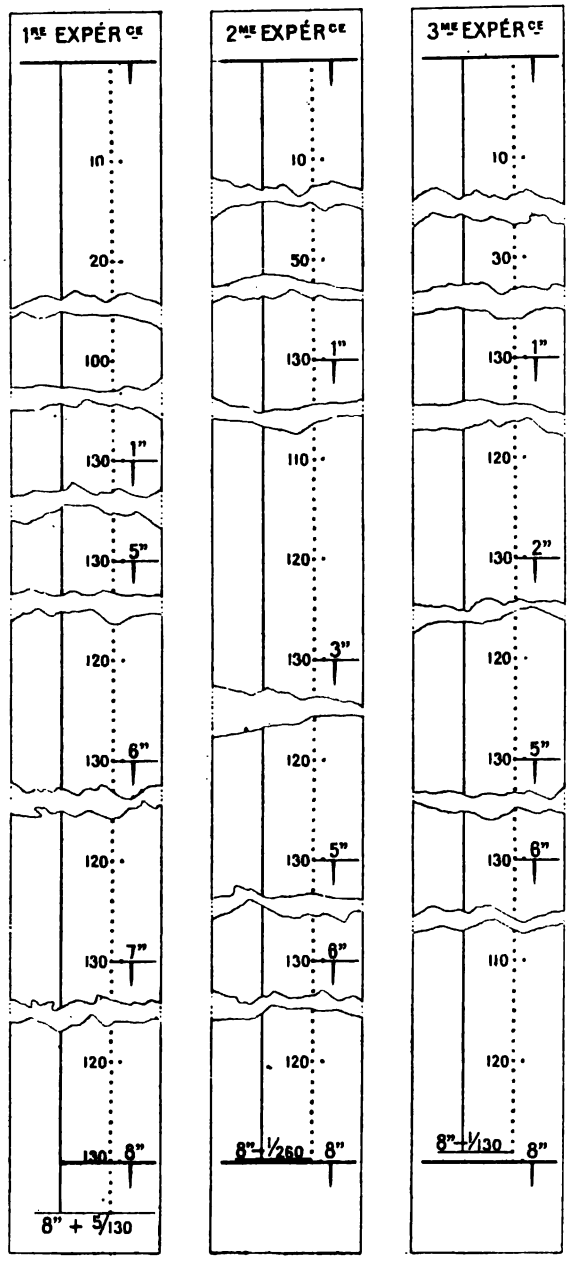

Fig. 3. — Chutes de 7m,135 observées pour une surface de 1 mètre carré pesant 98 grammes.

Permettez-moi, Messieurs, de signaler cette série à votre attention.

La chute de deux secondes n'ayant pas grande importance, au point de vue de la régularisation de la vitesse, je me suis contenté pour elle d'une seule expérience. L'approximation obtenue par cette expérience était d'ailleurs suffisante pour m'indiquer que l'espace devait être à peu près de 1m,25.

Mais, pour toutes les autres secondes, j'ai répété les expériences, et leur précision est vraiment remarquable. Le temps y varie généralement en concordance avec les variations de la chute.

Examinez spécialement les trois expériences pour huit secondes; et, pour vous en faire une idée exacte, voyez la photographie des trois longs rubans qui les représentent (fig. 3). Ces photographies, dans lesquelles les points de départ sont placés de niveau, montrent, qu'après huit secondes de chute, les points d'arrivée sont encore presque de niveau.

Je le répète, quand on aura soin d'éviter les courants d'air, même ceux que l'on produit en allant et venant dans la salle, l'enregistreur nous montrera qu'une même surface parcourt toujours le même espace dans le même temps.

Digitized by Google

L'analyse des espaces parcourus seconde par seconde nous donne :

Dans la 5e seconde.	1m,07
— 6e —	1m,085
— 7e —	1m,10
— 8e —	1m,10

Nous pouvons donc dire que la régularisation de la vitesse s'est faite sensiblement sur 1m,09.

Donc une surface de 1 mètre carré, carrée et plane, éprouve de la part de l'air, quand elle parcourt 1m,09 *à la seconde, une résistance de* 90 *grammes.*

Cette surface était donc encore trop pesante pour donner directement le coefficient de la résistance de l'air.

Série III. — En enlevant tout superflu à la précédente surface, j'ai réussi à la réduire au poids de 87gr,75.

Les expériences de la série II m'ayant montré que la chute s'était régularisée à partir de la cinquième seconde, je pouvais en conclure que, le poids ayant diminué, la régularisation se ferait encore plus tôt. C'est pourquoi je me suis contenté d'observer des chutes de sept et de huit secondes.

L'espace parcouru pendant la huitième seconde ayant été 1m,04, j'en ai conclu que :

Une surface de 1 mètre carré, carrée et plane, éprouve de la part de l'air, quand elle parcourt 1m,04 *à la seconde, une résistance de* 87gr,75.

J'étais donc encore au-dessus du coefficient de résistance de l'air.

Série IV. — Désireux de trouver ce coefficient directement par l'expérience, j'ai tenu à faire un mètre carré assez léger, et, pour cela, j'ai substitué des nervures en plumes d'oie aux nervures en bois.

J'ai ainsi réussi à fabriquer une surface de 1 mètre carré ne pesant que 76gr,75.

Le temps me pressant beaucoup, cette construction improvisée n'a pas été aussi parfaite que je l'aurais désiré. La tension de la surface n'avait pas toute la rigidité voulue, et, par suite, elle ne restait pas absolument plane devant la résistance de l'air. Ce défaut n'était cependant pas très grand.

Faute de temps, je n'ai observé, pour cette surface, que des chutes de sept et de huit secondes, me contentant même, pour huit secondes, d'expériences qui ne sont qu'approchées.

En examinant ces trois dernières chutes, série IV, vous verrez qu'il faut ajouter cinq ou six centimètres aux 6m,45 parcourus par la surface.

J'ai passé outre parce que ces chiffres m'indiquaient à coup sûr que, cette fois, j'étais *au-dessous* du coefficient de résistance de l'air.

Digitized by Google

La surface avait en effet parcouru dans la huitième seconde :

$$6^m,50 - 5^m,45 = 0^m,95$$

Donc, une surface de 1 mètre carré, carrée et plane, éprouve de la part de l'air, quand elle parcourt $0^m,95$ *à la seconde, une résistance de* $76^{gr},74$.

Série V. — A l'aide de petites masses additionnelles, j'ai fait monter le poids de la surface à 81 grammes.

Cette fois, les expériences pour 6, 7 et 8 secondes m'ont donné une vitesse régulière de 1 mètre à la seconde ; d'où, pour le *coefficient de résistance de l'air :*

Une surface de 1 mètre carré, carrée et plane, éprouve de la part de l'air, quand elle parcourt 1 mètre à la seconde, une résistance de 81 grammes.

Malheureusement cette Vᵉ série a été très troublée par les courants d'air, et le temps m'a manqué pour la reprendre dans de meilleures conditions.

Je ferai d'ailleurs remarquer que ce chiffre de 81 grammes pourra varier avec les dimensions de l'édifice fermé dans lequel on le cherchera.

En effet, bien que l'air soit compressible, un déplacement, produit en un certain point d'une atmosphère confinée, se progage très rapidement dans tous les sens jusqu'aux parois. Sur ces parois, il se forme des remous qui ramènent avec la même vitesse le mouvement ondulatoire vers sa source. D'où des troubles dans la vitesse de la surface en jeu, lesquels seront d'autant moindres que les parois qui les produisent seront plus éloignées.

La chapelle des Arts et Métiers mesure à peu près 70 mètres de longueur, sur 12 à 15 mètres de largeur, à l'endroit où se faisaient les expériences, et 18 mètres de hauteur. La nef a, dit-on, 25 mètres sous la clef de voûte.

Dans un local plus vaste, le coefficient de résistance de l'air serait peut-être inférieur à 81 grammes.

Les expériences de l'avenir pourront seules trancher la question.

En attendant, nous pouvons regarder 81 grammes, sinon comme étant le coefficient absolu, au moins comme le coefficient pour les surfaces carrées et planes, dans l'air confiné de la chapelle des Arts et Métiers.

Série VI. — Un jour me restait pour essayer à la hâte les trois surfaces de 1 mètre carré que j'avais préparées en soupçonnant que leurs *périmètres* différents influeraient sur la résistance de l'air.

N'espérant pas, avec la hauteur de 10 mètres dont je me servais, voir la chute de ces lourdes surfaces se régulariser, je me suis contenté d'observer les espaces parcourus dans les quatre premières secondes.

Digitized by Google

Les chutes, pour cinq secondes, se sont terminées trop près du sol, et n'ont pas été répétées assez souvent pour que l'on puisse en tirer quelque conséquence.

Or la surface de 1 mètre carré ronde, plane et entourée d'un rebord de 5 millimètres de hauteur, en prenant la moyenne des expériences faites en deux séances,

a parcouru :	en 1 seconde. . . .	$0^m,90$	dans la 1re seconde.	$0^m,90$
	— 2 secondes. . . .	$2^m,35$	— 2e — .	$1^m,45$
	— 3 —	$4^m.10$	— 3e — .	$1^m,75$
	— 4 —	$6^m,18$	— 4e — .	$2^m,08$
	— 5 —	$8^m,15$	— 5e — .	$1^m,97$ (à vérifier).

Cette dernière expérience semblerait indiquer que la régularisation de la vitesse s'est faite à la quatrième seconde de la chute, l'espace parcouru pendant la cinquième seconde étant moindre. Mais, ainsi que je l'ai déjà dit, c'est l'approche du sol qui, en empêchant l'air de s'échapper, a produit ce retard. Contentons-nous donc de noter que l'espace parcouru en quatre secondes a été de $6^m,18$.

Ayant trouvé plus tard que 1 mètre carré triangulaire de même poids ne parcourait que $5^m,80$ en quatre secondes, nous avons voulu voir comment se comporterait la surface ronde avec cette chute de $5^m,80$, et quatre expériences consécutives nous ont prouvé que réellement le temps employé à parcourir ces $5^m,80$ a été plus court.

Série VII. — Je n'ai pu réaliser que quelques expériences avec la surface carrée, pour une, quatre et cinq secondes.

Les cinq expériences pour une seconde indiquent $0^m,89$.

Les trois expériences pour quatre secondes donnent clairement 6 mètres.

Et les deux expériences pour cinq secondes indiquent que l'espace aurait dû être d'environ $7^m,60$.

Série VIII. — La moyenne des expériences faites en deux séances donne :

En 1 seconde	$0^m,89$	Dans la 1re seconde . . .	$0^m,89$
— 2 secondes.	$2^m,32$	— 2e — . . .	$1^m,43$
— 3 —	$4^m,05$	— 3e — . . .	$1^m,73$
— 4 —	$5^m,80$	— 4e — . . .	$1^m,75$
— 5 —	$7^m,50$	— 5e — . . .	$1^m,70$ (à vérifier).

La surface ronde ayant parcouru $6^m,20$ en quatre secondes, j'ai commencé par donner $6^m,20$ à la surface triangulaire; mais en examinant les onze expériences série VIII, 1°, et en les confrontant avec les six expériences faites le lendemain, nous avons été forcé de réduire la chute à $5^m,80$.

C'est alors que, pour contrôle, je remis la surface ronde en expérience, pour voir si elle se contenterait de ces $5^m,80$, et qu'elle me prouva que l'air résistait moins à sa chute qu'à celle de la surface triangulaire.

Digitized by Google

Quant aux cinq chutes pour cinq secondes, série VIII, 2°, elles indiquent avec assez de précision $7^m,50$.

§ 6. — CONCLUSIONS

Pour avoir le droit de comparer les chiffres fournis par les expériences avec ces trois surfaces de 1 mètre carré, ronde, carrée et triangulaire, j'avais pris soin de les mettre dans les mêmes conditions comme *superficie,* comme *poids.* et comme *bordure.*

Loi des périmètres. — Une seule condition établissait donc une différence entre elles : c'était leur *périmètre.*

Or, si nous mettons en présence les périmètres et les espaces parcourus en quatre secondes, nous trouvons :

FORME DE LA SURFACE.	PÉRIMÈTRE DE LA SURFACE.		ESPACE PARCOURU EN 4".	
Ronde.	$3^m,54$	Différence. 46 cent.	$6^m,18$	Différence. 18 cent.
Carrée.	$4^m,00$		$6^m,00$	
Triangulaire	$4^m,52$	Différence. 52 —	$5^m,80$	Différence. 20 —

Or, en substituant $17^{cm},69$ à 18 centimètres, on a la proportion exacte :

$$\frac{46}{52} = \frac{17,69}{20}.$$

Nous pouvons donc dire que : *La différence des espaces parcourus, ou, autrement dit, l'augmentation de la résistance, est proportionnelle à l'augmentation du périmètre.*

Ceci confirme mes prévisions, basées d'ailleurs sur l'analyse raisonnée des conditions physiques du phénomène.

En effet, dès lors que la surface tend à laisser un vide derrière elle, il faut bien que l'air vienne combler ce vide.

Or, quelle que soit sa fluidité, cet air est un corps pondérable inerte ; son déplacement exige donc un certain temps.

Si donc la vitesse avec laquelle se meut la surface est plus grande que celle avec laquelle la masse inerte de l'air peut fuir devant la surface et la contourner, pour combler le vide qu'elle tend à produire, la résistance éprouvée par la surface sera extrêmement grande.

Digitized by Google

C'est ce qui arrive, par exemple, dans l'explosion de la dynamite. L'énorme volume des gaz de la déflagration est mis si subitement en liberté, que l'air choqué par lui devient aussi résistant que le rocher, comme le prouve le brisement du rocher.

Dans ces vitesses extrêmes, aucun remous n'a le temps de se réaliser. Mais, dans les petites vitesses observables, l'air se déplace en formant des remous pour passer d'avant en arrière, en tourbillonnant sur les bords.

Ces tourbillons deviendraient visibles à l'œil si, pendant la chute d'une surface, on produisait de la fumée sur son trajet.

Or il est de toute évidence que, plus le périmètre de la surface est grand, plus il y a de remous à se former autour d'elle.

Il est de même évident que, plus les bords sont éloignés du centre, plus l'air qui contourne ces bords a de chemin à faire pour arriver à ce centre, où le vide tend à se former avec le maximum d'intensité.

Sans doute, l'air qui est en contact avec le dos de la surface la suit plus ou moins, selon que la vitesse le permet à son inertie; mais si cet air postérieur ne laisse pas le vide absolu se former, il ne peut combler l'espace laissé libre par la surface sans produire une raréfaction, un commencement de vide, que les remous ont la charge de combler.

Ces deux causes physiques interviennent à différents degrés dans les trois expériences qui nous occupent.

C'est autour de la surface *ronde* qu'il y a le moins de remous, qu'ils sont tous convergents vers le centre, et qu'ils ont le moins de chemin à parcourir pour y arriver, ce chemin étant pour tous le même, la longueur du rayon $R = 564$ millimètres.

Pour le carré, les remous qui se font normalement au bord de la surface ne se dirigent plus vers le centre. Ils se rencontrent sur les diagonales sous un angle de 90°, et forment, en s'y choquant, des remous secondaires, dont la marche vers le centre est plus ou moins facile. La longueur des demi-diagonales est de 700 millimètres.

Pour le triangle enfin, les remous venant perpendiculairement aux côtés se rencontrent sur les trois médianes sous un angle de 120°. Ils se rapprochent donc du choc de front beaucoup plus que ceux du carré. Les remous secondaires qu'ils produisent sont donc plus troublés dans leur direction vers le centre que ceux du carré. Les deux tiers de médianes sur lesquels ils se forment ont une longueur de 877 millimètres.

L'expérience a justifié cette analyse physique.

Reste à en tirer cette conclusion remarquable : que le coefficient de résistance n'existe pas, ou du moins qu'il y en a un pour chaque espèce de surface, chaque espèce étant caractérisée par la forme polygonale de son périmètre.

Digitized by Google

Loi des surfaces. — Si j'en avais eu le temps, j'aurais chargé la surface de 1 mètre carré, carrée et plane, de masses additionnelles jusqu'à lui donner le poids de $104^{gr},80$, double de $24^{gr},40$, poids de la surface d'un demi-mètre carré, qui m'a servi dans la première série. Si, dans ces conditions, elle avait parcouru, seconde par seconde, les mêmes espaces que cette dernière, l'expérience aurait démontré que la résistance est proportionnelle à la surface.

J'aurais voulu, dans le même but, préparer des surfaces rondes, carrées, triangulaires de 2, 3 ou 4 mètres carrés de superficie. Mais il faudra attendre que je trouve un nouveau local.

Parmi les expériences que j'ai faites, il y a cependant deux surfaces, carrées et planes, de superficies différentes; voyons si l'expérience nous révèle quelque chose à leur sujet.

Puisque la surface qui m'a donné 81 grammes pour coefficient de la résistance de l'air était carrée, elle est comparable au demi-mètre carré qui, lui aussi, était limité par un carré. Si nous admettons que 81 grammes est le coefficient de résistance pour toutes les surfaces carrées et planes, servons-nous-en pour calculer quelle devrait être la vitesse d'une surface de $0^{m^2},50$ pour trouver une résistance $R = 52^{gr},40$.

En supposant que la résistance soit proportionnelle à la surface et au carré de la vitesse, posons :

$$R = S \,.\, V^2 \,.\, 81 \text{ gr.} \quad \text{d'où} \quad V^2 = \frac{R}{S \,.\, 81 \text{ gr.}} \quad \text{et} \quad V = \sqrt{\frac{R}{S \,.\, 81 \text{ gr.}}}.$$

On trouve :

$$V = \sqrt{\frac{52^{gr},40}{0^{m^2},50 \,.\, 81 \text{ gr.}}} = 1^{m},13.$$

En revoyant la série I, elle nous montre la surface de $0^{m^2},50$ parcourant

dans la 4e seconde.	$1^{m},14$
— 5e —	$1^{m},10$
— 6e —	$1^{m},13$
— 7e —	$1^{m},15$

Cet accord est bien remarquable et nous autorise, autant qu'un seul cas vérifié peut nous le permettre, à dire que *la résistance est proportionnelle à la surface.*

Digitized by Google

Loi des vitesses. — Parmi les expériences réalisées, il y en a quatre qui sont comparables comme exécutées avec des surfaces carrées et planes.

Le même mètre carré a éprouvé :	avec la vitesse de	$0^m,96$	une résistance de	$76^{gr},75$
	—	$1^m,00$	—	$81^{gr},00$
	—	$1^m,04$	—	$87^{gr},75$
	—	$1^m,09$	—	$98^{gr},00$

Supposons cette dernière résistance inconnue, et calculons-la à l'aide des trois données précédentes, en admettant que les résistances sont proportionnelles aux carrés des vitesses, ou que l'on ait :

$$\frac{R}{R'} = \frac{V^2}{V'^2},$$

nous aurons :

1° $\frac{76^{gr},75}{x} = \frac{96^2}{109^2}$, d'où $x = \frac{76^{gr},75 \times 109^2}{96^2} = 97^{gr},86$;

2° $\frac{81 \text{ gr.}}{x} = \frac{100^2}{109^2}$, d'où $x = \frac{81 \text{ gr.} \times 109^2}{100^2} = 96^{gr},23$;

3° $\frac{87^{gr},75}{x} = \frac{104^2}{109^2}$, d'où $x = \frac{87^{gr},75 \times 109^2}{104^2} = 96^{gr},39$.

J'ose dire que, lorsque l'on pourra faire des expériences à l'abri des courants d'air, ce qui permettra de préciser les espaces à 1 centimètre près, seul écart que nous trouvons ici, on constatera, au moins pour ces petites vitesses, que *la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse.*

En résumé, nos 81 grammes peuvent être admis, jusqu'à plus amples renseignements, comme donnant le *coefficient de résistance de l'air* pour les surfaces *carrées* et *planes des deux côtés*, se mouvant dans l'atmosphère confinée de la chapelle des Arts et Métiers.

Ces résultats me donnent bien envie de recommencer cette étude avec les conditions de perfection indiquées par l'expérience.

Il serait bien intéressant et bien instructif d'étudier les chutes d'un ballon sphérique, d'un ballon conique d'un côté et plan de l'autre, d'un ballon doublement conique, etc., etc.

On trouverait expérimentalement quelle est la forme à donner à un volume — à un boulet par exemple — pour qu'il rencontre de la part de l'air le minimum de résistance.

Digitized by Google

EXPÉRIENCES SUR LE COEFFICIENT DE RÉSISTANCE DE L'AIR, par M. Canovetti.

L'auteur, après avoir rappelé les recherches antérieures, expose comme il suit les expériences qui l'ont conduit à la détermination du coefficients de résistance de l'air.

Description des expériences. — Depuis longtemps, nous avions pensé à essayer de déterminer la forme de moindre résistance, dans l'air, de solides de formes différentes, mais la hauteur maxima dont on peut disposer est limitée et la chute libre de ces hauteurs serait de trop courte durée pour pouvoir donner lieu à des mesures précises.

Nous avons pensé que la chute d'un mobile sur un fil tendu pouvait permettre de réduire la vitesse de chute en la rapprochant des valeurs qu'il intéresse davantage de connaître.

Depuis longtemps, nous songions à instituer des expériences de ce genre quand le prix proposé par la Société d'Encouragement est venu nous décider.

Les conditions offertes par la topographie de la ville choisie pour nos expériences ne pouvaient pas être plus favorables : un vieux château fort servant aujourd'hui de prison militaire, et situé sur une colline au nord de la ville, colline à pente douce vers l'intérieur, et terminée par des rochers escarpés presque à plomb vers l'extérieur (fig. 1).

Un fil de cuivre de transmission électrique de 3 millimètres de diamètre pesant 25 kilogrammes et long de 400 mètres fut tendu d'un point du parapet extérieur à un point convenablement choisi de la plaine, de façon à éviter la rencontre de tout obstacle tout en aboutissant à un point bas facilement accessible.

Si on avait pu tendre le fil en ligne droite, le mouvement aurait été uniforme après quelque temps, lorsque la résistance de l'air aurait atteint son équilibre avec l'effort moteur.

Mais les tentatives faites pour tendre un premier fil avaient montré qu'il fallait se contenter d'une tension modérée laissant au fil la forme de chaînette, pour ne pas risquer de le rompre, surtout dans les endroits où les manœuvres pour la mise en place avaient produit quelques plis devenus des points faibles.

La partie inférieure de la chaînette est forcément presque horizontale. Cette condition est favorable pour réduire la vitesse d'arrivée qui atteint des valeurs dépassant 20 mètres à la seconde, ce qui nous a obligé à employer différents expédients pour amortir le choc.

Pour réduire les frottements du chariot roulant sur le fil, nous avons (fig. 2)

Digitized by Google

réalisé des essieux à billes en employant des coquilles et billes en acier en noyant les coquilles dans la fusion de l'aluminium des roues que l'on tournait ensuite.

Aux grandes vitesses, pour arrêter le chariot, nous disposions à l'arrivée un sac à copeaux, plusieurs grosses ficelles attachées lâches à un fil métallique tendu horizontalement et qui faisait ressort. La ficelle était coupée par les bords de la zone antérieure et surtout par le choc, ce qui nous était arrivé lorsque nous avions voulu attacher la ficelle même par un seul bout à un obstacle fixe.

Dans le cas des grandes vitesses, et lorsque nous avons expérimenté avec la sphère, nous nous placions près du sac à copeaux et nous arrêtions le chariot avec un coup de canne faussant tout, quitte à refaire le chariot pour sauver les roues; cela nous a toujours réussi même avec la sphère si fragile.

Ces tentatives nous ont absorbé tout un mois, et lorsque nous avons commencé les expériences définitives, nous avons constaté que le mouvement, dans le dernier tronçon de la chaînette, était ralenti, et nous avons dû porter l'arrivée à une trentaine de mètres en avant du sac à copeaux, sur un arbrisseau qui était tout près du fil, et dont nous n'avons pas coupé les branches comme nous avions fait aux autres.

En y attachant un petit drapeau rouge, le mobile venait l'agiter en passant, car, sous la flexion du mouvement, le fil s'y abaissait de 0,50 environ, tandis que, au repos, le fil passait librement au-dessus.

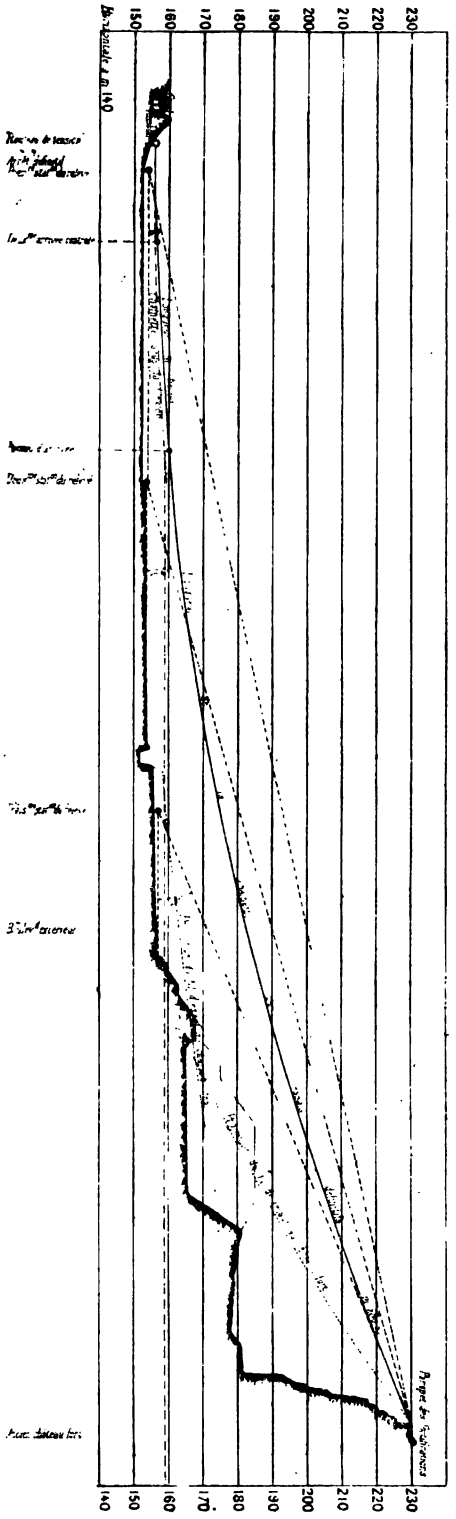

Fig. 1.

Digitized by Google

Malgré cela, avec une série d'expériences faites avec des poids moteurs croissants, nous avons trouvé qu'il fallait se porter encore à 60 mètres en avant pour avoir un mouvement uniforme.

A cet endroit, nous avons planté un mât de signal haut de $7^m,50$ au-dessus du sol, la chaînette passait à $0^m,50$ au-dessus, mais à un demi-mètre de distance horizontale pour laisser passer le mobile sans heurter le mât.

Ce mât nous servait à observer la flèche prise par le fil en même temps qu'à préciser l'instant du passage du mobile. Cette flèche était de 1 mètre (1).

Un aide, porteur d'un grand drapeau, le tenait soulevé et l'abaissait brusquement à cet instant, ce qui permettait à l'observateur placé en haut d'arrêter

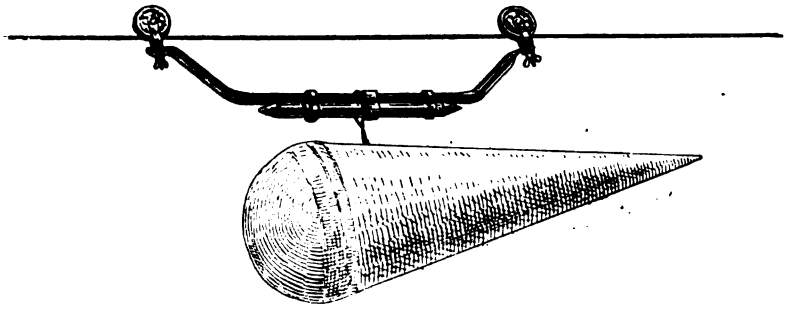

Fig. 2. — Solide à l'allongement 3,5 librement suspendu par son centre de gravité marchant le gros bout en avant.

le chronomètre qu'il avait mis en mouvement au moment même où il lâchait le mobile.

Marche des expériences. — La marche des expériences était la suivante : quand il n'y avait qu'un seul observateur en haut : après trois sifflets d'appel, que nous répétions étant près du poteau d'arrivée, l'observateur faisait partir le mobile, avec un long sifflet qui (étant donnée la distance) nous arrivait souvent après la mise en marche de notre chronomètre, car nous avions vu partir le mobile avant.

A ce moment, nous élevions le chronomètre sur la ligne de visée vers le haut, pour lire l'instant du passage, et nous suivions de l'œil le mobile jusqu'à ce qu'il touchât le petit drapeau rouge, auquel moment nous arrêtions le chronomètre.

La lecture du chronomètre du haut était seule retenue exacte, car le départ coïncidait exactement avec la mise en marche de ce chronomètre, et l'observateur du haut n'avait autre chose à faire que d'attendre l'abaissement du drapeau tandis que nous avions encore à apprécier la flèche, etc., etc.

(1) C'est cette valeur que nous avons introduite dans les calculs, quoiqu'elle varie avec le poids et surtout avec la vitesse. Pour les vitesses et poids donnant une flèche supérieure à 1 mètre, nous l'avons appréciée chaque fois, et augmenté d'autant la hauteur de chute.

Digitized by Google

La deuxième mesure nous servait à constater la constance du mouvement, mais la première seule était intéressante et la seule que nous emploierons.

On ne pouvait faire que six expériences au plus dans une après-midi et autant dans la matinée, chaque expérience demandait une demi-heure environ, les trois quarts employés à ramener le chariot et à substituer les surfaces et les solides, faire les pesées et revenir au point d'arrivée.

Lorsque nous pouvions disposer d'un troisième aide, celui-ci servait surtout à tourner le dévidoir sur lequel on enroulait la ficelle que le premier observateur était obligé de tirer à la main, car l'effort était considérable, et il fallait éviter les chocs qui pouvaient déterminer la rupture de la ficelle, que nous avons changée plusieurs fois.

Un des chocs détermina la chute et la rupture du chariot n° 2, qui fut remplacé par le n° 3, plus robuste, en fer creux, mais aplati de façon à se présenter en biseau aux deux bouts.

L'augmentation de poids de ce chariot et sa plus grande résistance à l'air nous ont obligé à séparer les expériences faites avec ces deux chariots.

Programme des recherches. — Nos recherches avaient pour but :

1° De déterminer la valeur du coefficient K d'une surface plane et, ceci connu, de déterminer :

2° Les variations de ce coefficient dues :

a) A la forme de la surface plane ;

b) A l'état de cette surface ;

c) A son étendue ;

d) A la substitution d'une surface sphérique ou conique recouvrant cette surface à l'avant (proue) ;

e) A l'influence de cette même adjonction derrière la surface plane (poupe) ;

f) A l'influence d'une proue et d'une pompe réunies ;

3° A la plus ou moins grande stabilité des solides ainsi accouplés.

Analyse des expériences. — Il n'a pas soufflé de vent du Sud pendant les expériences. Ceux-ci pouvaient arrêter les expériences et les fausser, mais l'abri du château fort nous en garantissait. Les vents du Nord ont soufflé pendant quelques jours, pendant lesquels nous avons fait les expériences pour en étudier l'effet sans tenir compte des résultats.

Deux fois on a eu des vents transversaux et le ralentissement nous avertissait quand leur influence se faisait sentir.

En effet, de toutes les expériences, à conditions égales, nous avons toujours retenu comme la plus exacte celle à temps le plus court, puisque les vents du Sud étaient absolument exclus.

Digitized by Google

Au chariot vide, la résistance de l'air ne s'exerce que sur le chariot lui-même, que nous avons fait le plus tranchant possible, de sorte que la vitesse était indépendante du poids.

Calcul des résistances. — Une fois le fil tendu et les premiers essais réussis, il fallait songer à établir les cotes des points de départ et d'arrivée, la longueur du fil, etc.

Le poids du fil employé et son poids au mètre linéaire nous faisaient connaître que la longueur du fil, attaches comprises, était d'environ 400 mètres.

Un nivellement nous donna pour cote du parapet 230^{m},12. Le fil passait à 0^{m},20 au-dessus du parapet, sa cote de départ était donc 230^{m},32.

Dans la plaine, nous avons attaché le fil à un appareil de tension placé sur une berge de canal en remblai.

	Mètres.	
		230,32
Le poteau d'arrivée fut placé à une distance du parapet, mesurée selon la chaînette, de	280	
La deuxième station étant à.	60	
L'arrivée à.	30	
Longueur totale entre attaches.	370	
La cote du sol au poteau d'arrivée.	152,12	
Hauteur du fil au-dessus du sol au repos.	8	
	160,12	
A retrancher la flèche pendant le mouvement. . . .	1	159,12
Hauteur effective de chute h.		71,20

Pente moyenne théorique $\frac{71,20}{280} = 25$ p. 100 environ.

Lorsqu'un poids P parcourt la chaînette, le travail total est réparti en travaux absorbés par la résistance de l'air, par le frottement du chariot et par la force vive du mobile. Si la vitesse est V au moment de l'arrêt, il faut retrancher du travail total Ph la demi-force vive $\frac{mV^2}{2}$.

$$Ph - \frac{1}{2} m V^2 \qquad \text{où} \qquad m = \frac{P}{g}.$$

$$P\left(h - \frac{V^2}{2g}\right)$$

et si on appelle h' la hauteur génératrice de la vitesse,

$$h' = \frac{V^2}{2g}$$

$$P(h - h')$$

représentera le travail absorbé par le frottement et la résistance de l'air.

Digitized by Google

La séparation de ces deux facteurs de la résistance n'a pas été facile à faire.

Travail absorbé par le chariot et les poids suspendus par frottement. — Les essais faits avec le chariot seul nous avaient montré que le poids avait peu d'influence sur la vitesse et que celle-ci atteignait des valeurs proches de 22 mètres; à cette vitesse, tout le travail disponible était donc absorbé en frottements.

On ne pouvait pas diminuer le poids propre du chariot, et celui-ci, avec l'adjonction de la fusée munie de pointes à l'avant et à l'arrière, augmentait légèrement de vitesse, la résistance opposée par la fusée étant minime, et il était nécessaire d'expérimenter avec les mêmes poids et formes des expériences définitives.

Il ne restait donc qu'à diminuer la pente. Ne pouvant pas descendre le fil jusqu'à la hauteur nécessaire pour obtenir les vitesses *réduites* des expériences avec des surfaces, nous avons résolu d'établir un fil beaucoup plus bas, et, après quelques tentatives, nous l'avons attaché à un point, haut de $16^m,50$ au-dessus de l'arrivée. Le fil avait alors une longueur de 130 mètres utiles, soit à peu près la moitié de celle du fil d'essai.

Nous avons pu établir la hauteur de chute absorbée par cette vitesse sur cette longueur, d'où nous avons déduit la pente par mètre nécessaire à ces vitesses d'essai.

Les expériences avec le chariot seul nous ont donné la vitesse limite, où il n'y a plus de travail disponible, et ces valeurs nous ont permis d'établir le tableau suivant et le graphique annexe (fig. 3), p. 1045, dans lequel les ordonnées comprises entre les deux courbes donnent le travail absorbé par la résistance de l'air seule.

La représentation de la résistance du chariot est une fonction linéaire de la vitesse. Ses deux valeurs, plusieurs fois vérifiées, se trouvent en effet en ligne droite avec l'origine (1).

Cette résistance est en valeur absolue un tiers seulement de celle du matériel de chemin de fer.

VITESSE.	HAUTEUR GÉNÉRATRICE. de la vitesse. h'	HAUTEUR DE CHUTE totale. h	DIFFÉRENCE. h-h'	LONGUEUR. en mètres.	PENTE par mètre.	HAUTEUR pour 280 mètres.
11,3	6,50	16,50	10	130	0,0769	21,65
20,55	21,50	74,20	52,60	370	0,0142	39,76

(1) Toute une série d'expériences faites en 1899 a confirmé que la résistance du frottement est proportionnelle seulement à la première puissance de la vitesse. Voir fig. 3.

Digitized by Google

DÉTERMINATION DU COEFFICIENT K DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR

L'étude du coefficient K a absorbé la plus grande partie de notre temps et les plus belles journées d'expériences.

Les valeurs de K que nous avons trouvées sont toutes proches de 0,09 pour les surfaces un peu grandes, d'environ 1/5 de m². Elles s'abaissent à 0,08 pour les surfaces de 1/15 de m² et au-dessous, et conservent cette valeur, même pour les très petites surfaces.

A cause de cette valeur réduite de K, nous avons douté de nos résultats. En nous rapportant à la valeur ordinairement admise : de 0,134, nous avons répété nos expériences, déterminé avec un grand soin les constantes du chariot, et nous aurions bien voulu pouvoir opérer sur des surfaces plus grandes, mais la fusée ne nous permettait pas de placer plus de 2 kilogrammes de poids supplémentaire et les épreuves à petite vitesse étaient trop sujettes aux erreurs provenant du vent, des bosses du fil, du chariot, etc., pour pouvoir être tentées. Celles à grande vitesse étaient dangereuses pour le chariot lui-même, qu'il fallut réparer souvent, refaire trois fois, etc., etc.

Les variations de vitesse sont suffisantes, puisqu'elles vont de 5 à 15 mètres pour les surfaces, et au delà pour les solides.

Pour faire des expériences avec des surfaces plus grandes, il faudrait un fil plus long, plus fort, c'est-à-dire un vrai fil porteur de transports aériens, capable de soutenir un chariot muni d'un châssis bien immobile, et cela nous a été impossible à réaliser (1).

Toutes les expériences ont été répétées au moins deux fois.

On prenait, chaque fois, la plus petite des valeurs, considérant l'autre comme faussée, et, puisque l'augmentation ou la diminution du poids ou des surfaces était constante, toute valeur frappée d'erreur se dénonçait aisément et nous avons répété souvent les expériences douteuses.

Nos valeurs sont (tableau n° 2, p. 34-35) beaucoup plus basses que celles ordinairement admises. Nous avons, par contre, vérifié l'exactitude des expériences faites à Chalais, et nous avons trouvé, pour un solide analogue au ballon *la France* enveloppé d'un filet, un coefficient K de 0,0171, qui n'est que le 1/5 de la valeur de K déterminée par nous.

Concordance avec les expériences de Chalais. — Les expériences de Chalais ont donné, pour le ballon *la France* complètement gréé, K = 0.0215, en prenant la section au maître-couple. Nous trouvons absolument les mêmes valeurs quand le mobile ne suit pas une ligne absolument droite.

(1) Ces expériences ont été faites en 1899.

Digitized by Google

Pour nous rapprocher des conditions effectives de ce ballon, nous avons allongé (fig. 6) le filet en forme de suspension, en laissant dépasser à l'arrière une partie de ce filet pour prendre la place du gouvernail.

Dans ces conditions, et le filet de suspension ayant une hauteur égale à 2 diamètres, nous avons trouvé pour K juste la valeur ordinaire rapportée au maître-couple.

Ceci justifie aussi les calculs de M. Dupuy de Lôme. Ce n'est pas tant le filet adhérent à l'enveloppe proprement dite, mais bien celui qui dépasse les attaches

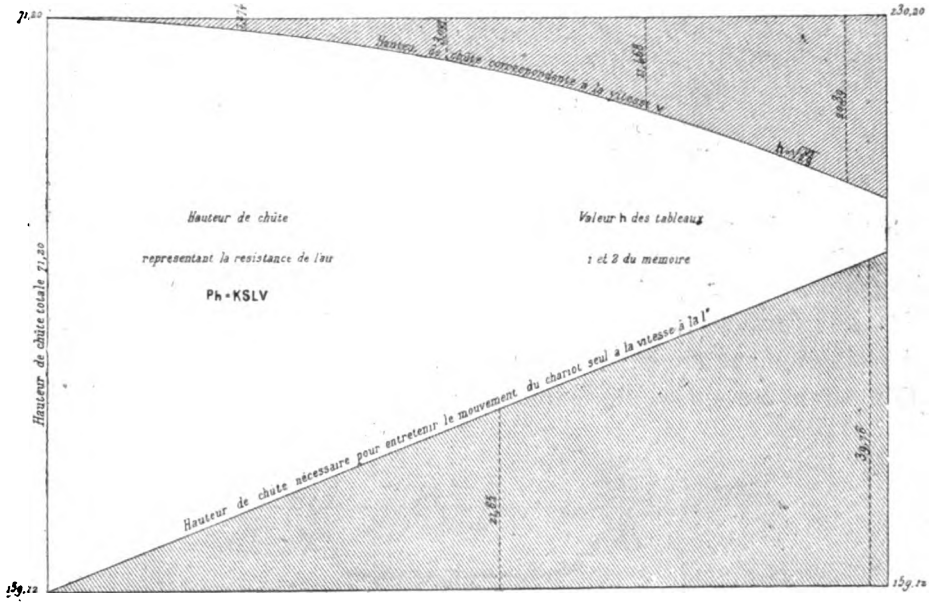

Fig. 3.

et tous les agrès qui introduisent de nouvelles surfaces opposées au mouvement.

Cependant le filet tout seul, bien serré contre le solide, a donné une augmentation de 50 p. 100.

Cela justifie notre proposition : de constituer le filet par des bandes de métal, de le tenir bien près du ballon et de constituer les attaches par des fils ronds, puisque le bénéfice de l'arrondissement est considérable, comme nous le disons plus bas.

Nous aurions voulu déterminer l'influence de l'inclinaison des surfaces, mais quelques expériences nous ont montré la nécessité d'un châssis-porteur bien rigide, qui ne peut être fait qu'avec des expériences coûteuses et à une échelle plus grande.

L'inclinaison de la surface tendant à soulager la roue d'avant, nous avions à craindre le déraillement; toutefois, une expérience faite avec un disque de $0^m,295$

Digitized by Google

de diamètre légèrement incliné a abaissé le coefficient K jusque à 0,06, mais cela imprimait des mouvements oscillatoires qui ôtaient toute sûreté à la mesure du temps.

Influence des proues et des poupes (Tableaux 1 et 4). — L'influence des proues

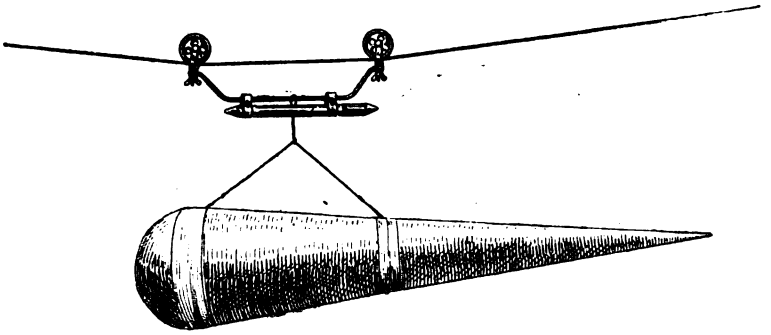

Fig. 4. — Solide à l'allongement 3,5 marchant le gros bout en avant librement suspendu.

et des poupes est par contre très intéressante et nous répétons que leur influence paraît moins grande parce que notre coefficient K est beaucoup plus bas que celui ordinairement admis.

En opérant sur un treillis pareil au rectangle d'épreuve mais évidé de 1/3,

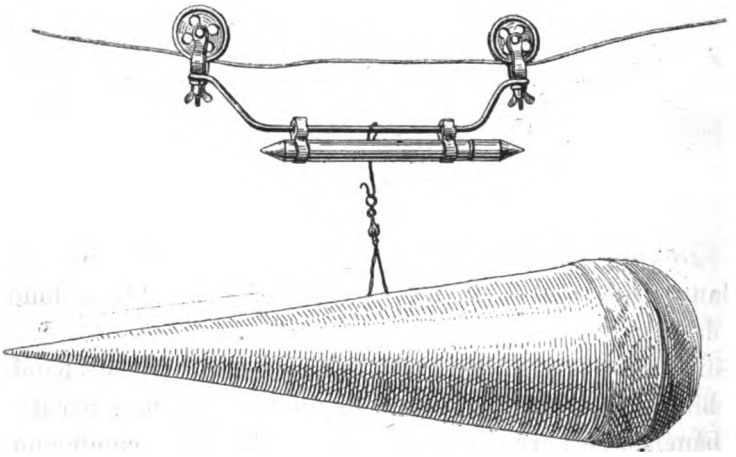

Fig. 5. — Solide à l'allongement 3,5 marchant la pointe en avant lesté et librement suspendu.

de façon à le ramener à $0^{m^2},12$ seulement, nous avons obtenu un coefficient K plus bas et, en cherchant le rectangle équivalent, c'est-à-dire prenant sous le même poids la même vitesse, il nous a fallu un rectangle de $0^{m^2},132$, soit de 1/10 plus grand, ce qui s'explique par l'abaissement du coefficient K quand l'air frappe des surfaces restreintes et qu'il peut s'échapper plus facilement.

Digitized by Google

Ces résultats figurent, dans le tableau n° 1 (p. 33) qui nous a servi pour calculer la valeur du coefficient K.

La deuxième partie de notre programme comportait l'étude de l'influence de la forme de la surface plane sur le coefficient K. En opérant (tableau n° 2) sur un rectangle de $0^m,50 \times 0^m,36$ et sur un cercle équivalent de $0^m,48$ de diamètre, nous n'avons pas trouvé de différences sensibles, sinon quelque fraction de seconde à l'avantage de la surface circulaire.

L'influence de l'état de ces surfaces nous a paru plus intéressante à étudier sur des solides (tableau n° 3). Nous avons déjà dit qu'un filet enveloppant (fig. 6), quoique bien tendu, en empêchant le déplacement de l'air, a augmenté K

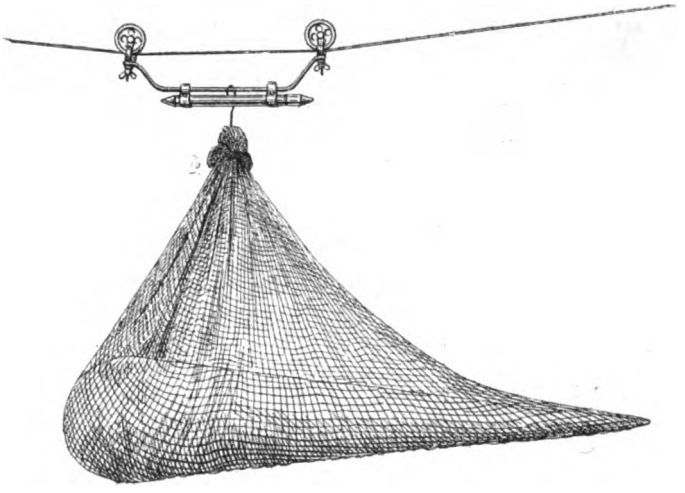

Fig. 6. — Solide à l'allongement 3,5 marchant suspendu librement et entouré d'un filet.

de 50 p. 100, et, évidemment, toute irrégularité de la surface fera varier plus ou moins le coefficient suivant l'importance relative des saillies.

L'influence de l'étendue n'a pu être vérifiée qu'en partie, et il y a lieu de croire à une augmentation du coefficient K avec l'augmentation de la surface; mais nous n'avons pas pu aller au delà de 1/5 de m^2 (1).

L'influence de la proue a été étudiée en constituant (fig. 7) des cônes à la conicité de 1, 1 1/2, 2 et 3, et en les faisant marcher, ainsi que la sphère, toujours sous un poids moteur constant.

Nous n'avons pas calculé tous les coefficients K, puisque les différences sont minimes, et qu'il suffit de considérer la diminution du temps ou l'augmentation de la vitesse pour s'en rendre compte.

Lorsque l'on opérait avec les solides terminés par une surface plane, il

(1) Les expériences de 1899 ont donné des valeurs légèrement décroissantes avec l'augmentation de la surface.

Digitized by Google

était beaucoup plus facile d'avoir des attaches rigides, et les résultats sont plus sûrs que quand on essayait avec les solides à poupe allongée, car alors l'attache au chariot devenait moins facile et, étant moins rigide, laissait ondoyer le mobile.

Cependant, en accouplant les cônes de conicité 1 à 1 et 1 sur 2, il y eut grand avantage à faire marcher les cônes 1 sur 2 en avant (fig. 7).

Stabilité de route. — Nous avons accouplé, comme nous avons dit, la sphère avec le cône 1 à 3 en interposant une petite surface cylindrique de raccord, et la sphère marchant en avant nous a donné la plus grande vitesse.

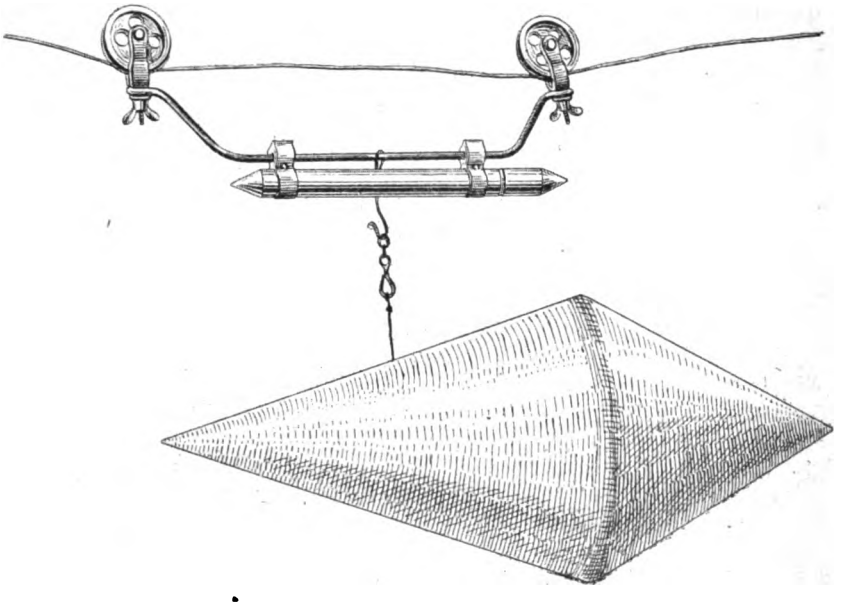

Fig. 7. — Solide formé par l'accouplement du cône 2 et 1, le cône 2 lesté et librement suspendu par son centre de gravité en avant.

Avec deux attaches maintenant bien le solide dans l'axe du mouvement, les 280 m. ont été franchis en 80 $\frac{1''}{5}$, tandis que le chariot seul en demande 75.

Cette forme est sans contredit celle du solide de moindre résistance.

Pour marcher la pointe en avant, nous l'avons attachée ; mais, comme nous l'avions prévu, l'attache cassa, et la pointe passa à l'arrière. Pour la faire marcher effectivement à l'avant, il nous fallut trois attaches, et, malgré cela, il y avait un mouvement d'oscillation qui marquait l'instabilité de route.

Ces oscillations allongèrent de 1″ le temps ; mais, comme notre tableau le montre, cela suffit à élever notablement le coefficient K, exactement comme il arrive avec l'emploi du filet serré contre le solide.

En suspendant le solide par son centre de gravité, seul ou avec le filet allongé,

Digitized by Google

Tableau n° 1.

INFLUENCE DES PROUES ET DES POUPES MESURÉE PAR LE TEMPS EMPLOYÉ

A PARCOURIR 280 MÈTRES

FORME DU MOBILE		MARCHANT		POIDS MOTEUR en grammes.	VALEUR DE K.	OBSERVATIONS.
AVANT.	ARRIÈRE.	A L'AVANT.	A L'ARRIÈRE.			
		Temps *t* en cinquièmes de seconde.				
		100	»	2 500	0,0225	Le temps étant très peu différent, toutes ces formes se valent.
		103	143	»	»	»
		98	139	»	»	Allongement qui a donné la moindre résistance.
		102	»	»	»	»
		101	»	»	»	»
		99	97	»	»	»
2 attaches rigides		80	»	3 260	0,0117	»
attache non rigide		85	»	»	0,0171	»
Filet adhérent		85	»	3 520		
attache libre par le centre de gravité		123	127	3 260	0,022-0 024	A Chalais, on avait eu 0,0215.
Centre de gravité	filet	134	»	3 775	»	La résistance supérieure est due au filet.
		89	»	3 200	0,083	On a cherché la surface plane équivalente en temps employé et elle est résultée comprise entre 1/4 et 1/5.

Digitized by Google

Expériences sur les surfaces.

CALCUL DU COEFFICIENT K

FIGURE DU MOBILE.	SURFACES S en mètre carré.	POIDS MOTEUR P en grammes.	LONGUEUR D'ESSAI l en mètres.	TEMPS EMPLOYÉ en cinquièmes de seconde. t	VITESSE V EN MÈTRES par seconde. $\frac{5l}{t}$	HAUTEUR DE CHUTE effectivement disponible h en mètres.
	0,181	1 800	280	280	5,00	59,70
	»	2 060	»	268	5,22	59,00
	»	2 370	»	258	5,42	58,60
	»	2 580	»	245	5,71	58,00
	»	2 840	»	235	5,95	57,00
	»	3 040	»	225	6,22	59,70
	0,0684	1 450	»	195	7,18	54,00
	»	1 710	»	186	7,52	53,30
	»	1 990	»	171	8,18	51,50
	»	2 590	»	150	9,33	48,20
	0,0467	2 560	»	138	10,14	46,00
	0,0240	»	»	115	12,17	39,70
	0,0155	»	»	94	14,88	30,50
	0,12	»	»	191	9,32	53,80

Digitized by Google

PAR LA FORMULE $K = \frac{P.h}{S.V^2.l}$

Tableau N° 2.

TRAVAIL ABSORBÉ par la résistance de l'air P.h	S.l	RÉSISTANCE DE L'AIR au m² $\frac{P.h}{S.l}$	V²	VALEUR DE $K = \frac{P.h}{S.V^2.l}$	OBSERVATIONS.
107,46	50,7	2,11	25	0,084	Nous avons opéré avec le cercle et avec le rectangle sans différences sensibles, mais à l'avantage du cercle.
121,54	»	2,39	27,24	0,087	»
135,85	»	2,67	29,37	0,090	»
149,64	»	2,95	32,60	0,090	»
162,73	»	3,20	45,40	0,090	»
172,37	»	3,39	38,68	0,087	»
78,30	19,2	4,07	51,55	0,08	Section du maître-couple de tous nos solides.
91,14	»	4,75	56,55	0,084	»
102,485	»	5,33	66,91	0,08	»
136,83	»	7,12	87,00	0,081	
113,00	13,07	8,64	103,00	0,08	»
99,25	7,72	12,86	147,00	0,087	
76,25	4,34	17,50	221,00	0,0794	
134,45	3,36	4,00	53,32	0,075	Pour avoir la même vitesse, il a fallu employer une surface de 0,132, soit augmenter de 1/10 celle effective exposée, qui offre une résistance moindre de 1/10.

Digitized by Google

RECHERCHES SUR LA

Expériences sur les solides.

DÉTERMINATION DU COEFFICIENT K

FIGURE DU MOBILE. AVANT.	ARRIÈRE.	SURFACE S en mètres carrés.	POIDS MOTEUR P en grammes.	LONGUEUR D'ESSAI l en mètres.	TEMPS EMPLOYÉ en cinquièmes de seconde t	VITESSE V EN MÈTRES par seconde $\frac{5l}{t}$	HAUTEUR DE CHUTE effectivement disponible h en mètres.
		0,0684	2 500	280	139	10,07	46,40
		»	»	»	100	14,00	34,00
		»	»	»	91	15,38	28,80
		»	3 575	»	134	10,44	45,00
	Filet de suspension	»	3 260	»	127	11,02	23,60
	Suspension par le centre de gravité et librement	»	3 260	»	123	11,38	22,50
		0,0155	3 200	»	89	15,72	28,00
	1re attache Filet carré 2e attache	0,0684	3 500	»	85	16,47	25,00
	attache rigide attache rigide	»	»	»	80	17,50	21,00
	3 attaches, la dernière libre, le solide pouvait osciller.	»	3 260	»	85	»	»

Digitized by Google

RÉSISTANCE DE L'AIR

PAR LA FORMULE $\frac{P.h}{S.V^2.l}$

Tableau N° 3.

TRAVAIL ABSORBÉ par la résistance de l'air = Ph	PRODUIT de la SURFACE par la longueur.	RÉSISTANCE DE L'AIR au m² $\frac{Ph}{Sl}$ en kilogrammes.	V²	VALEUR de K $\frac{Ph}{SV^2l}$	COEFFICIENT de RÉDUCTION.	OBSERVATIONS.
116,00	19,2	6,14	101,4	0,06	3/4 envir.	La réduction de ce coefficient montre l'influence de la poupe seule.
85,00	»	4,42	196,0	0,0225	1/4 envir.	La réduction de ce coefficient montre l'influence de la proue.
72,00	»	3,75	236,4	0,0158	1/5 envir.	La réduction de ce coefficient montre l'influence de la proue et de la poupe ensemble.
169,87	»	8,79	109,7	0,08	»	La plus grande résistance est due au filet, mais aussi à l'instabilité de route, qui faisait ondoyer le mobile, comme le montrent les deux expériences suivantes.
57,25	»	2,98	121,4	0,024	1/4 envir.	Les expériences de Chalais ont donné 0,0215, et nous trouvons 0,022, à cause de l'instabilité de route, puisque, quand celle-ci est assurée, on a les résultats des deux dernières expériences.
56,25	»	2,92	129,5	0,022		
89,60	4,34	20,64	247,4	0,083	»	Nous avons cherché de réaliser la surface équivalente au solide, qui est résultée un peu trop grande entre 1/4 et 1/5 de la section du maître-couple. Le rapport vrai doit être 1/5, comme le donne le coefficient de l'expérience suivante.
88,00	19,2	4,58	267,3	0,0171	1/5 envir.	1/5 du coefficient de la surface plane, comprise la résistance du filet.
69,54	»	3,62	308,9	0,0117	1/7 envir.	1/7 du cofficient de la surface plane, ce qui montre bien le bénéfice de cette forme.
»	»	»	»	»	»	Des légères oscillations ont retardé le mouvement.

Digitized by Google

Après l'envoi du Mémoire précédent, M. Canovetti nous a communiqué les résultats d'expériences

FIGURE DU MOBILE.	SURFACE S en mètres carrés.	POIDS MOTEUR P en grammes.	LONGUEUR D'ESSAI l en mètres.	TEMPS EMPLOYÉ en cinquièmes de secondes t	VITESSE V en mètres par seconde $\frac{5l}{t}$	HAUTEUR DE CHUTE effectivement disponible en mètres. h
	0,073	4,000	Mètres. 280	90	15,55	28,60
	»	»	»	126	11,11	43.50
	»	»	»	129	10,85	44,30
Solides non lestés Centre de gravité	»	»	»	138	»	
Attaches rigides	»	»	»	75	18,66	17
	»	»	»	104	»	»
	»	»	»	83	16,86	24.00
Solides lestés	»	»	»	85	16,47	25,00
	»	4,000 3,600	»	85 120	»	»
	»	»	»	171	»	

Digitized by Google

Tableau N° 4.

faites en 1899. Ces résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

TRAVAIL ABSORBÉ par la résistance de l'air Ph	PRODUIT DE LA surface par la longueur Sl	RÉSISTANCE DE L'AIR au m^2 $\frac{Ph}{SL}$ en kilogrammes.	V^2	VALEURS DE K $\frac{Ph}{SlV^2}$	OBSERVATIONS
114,4	204	5,77	241,7	0,0224	0,0225 dans les expériences à 2500 grammes.
174 »	»	8,50	123,4	0,064	Réduction de 0,9 environ sur la surface pleine du maître-couple.
176,8	»	8,66	117,7	0,074	0,075 à 0,008 dans les précédentes expériences.
»	»	»	»	»	Le solide ondoyait et présentait les flancs.
68 »	»	3,33	347,9	0,0096	Le solide était rigidement maintenu, il a donné la plus grande réduction, 1/8 environ.
»	»	»	»	»	Les attaches étant rapprochées, le solide ondoyait.
96 »	»	4,76	284,2	0,0167	Le solide était maintenu rigidement, il a donné une résistance moindre que le cône 3 et une réduction de 1/5 environ de K.
100 »	»	4,90	247,3	0,0183	Lesté et libre, suspendu par le centre de gravité ; non lesté, il avait donné K = 0,01585, le gros bout en avant sous le même poids, soit une résistance moindre à cause de la moindre amplitude des oscillations.
»	»	»	»	»	Lesté, suspendu par le centre de gravité, marchant droit. Insuffisamment lesté, le centre de gravité coïncidant avec le centre de figure il se plaçait de travers.
»	»	»	»	»	Lesté, suspendu librement, mais le centre de gravité trop près du centre de figure, le solide était insuffisamment guidé.

Digitized by Google

ce qui devait assurer davantage la stabilité de route, nous avons eu une série d'oscillations périodiques qui ont allongé notablement le temps.

Avec les cônes accouplés, nous avons eu ces mêmes oscillations, quelque soit le cône placé en avant, et, en le suspendant par son centre de gravité, le solide a marché de travers avec des oscillations d'une certaine amplitude, mais sans jamais se présenter en flanc.

Nous avons déjà dit que la sphère était plus lourde spécifiquement à cause de sa constitution. Cela a pu aider à ramener le centre de gravité en avant; mais, avec le filet, nous avions compensé cette tendance, et elle se manifestait encore, quoique à un degré moindre.

La forme du ballon *la France* est bonne, à la condition d'éviter tout mouvement transversal, ce qui nous paraît assuré pour l'hélice placée en avant, et nous sommes heureux d'avoir à constater le bien fondé de ces dispositions, quoique, d'abord, nous penchions vers l'avis de M. de Bruignac, surtout pour préférer un cône allongé à la sphère placée en avant.

Paris. — Typ. Chamerot et Renouard, 19, rue des Saints-Pères. — 38246

Digitized by Google

Digitized by Google

La Société d'Encouragement a été fondée, en 1891, pour l'amélioration de toutes les branches de l'industrie française.

Elle décerne des prix et médailles pour les inventions et les perfectionnements introduits dans les arts;

Elle se livre aux expériences et essais nécessaires pour apprécier les procédés nouveaux qui lui sont présentés;

Elle publie un *Compte rendu* des séances de son Conseil d'administration et du *Bulletin* mensuel renfermant l'annonce raisonnée des découvertes utiles à l'industrie, faites en France et à l'étranger;

Elle distribue des médailles aux ouvriers et contremaîtres des établissements agricoles et manufacturiers qui se distinguent par leur conduite et par leur travail;

Elle vient au secours des inventeurs que leur âge ou leurs infirmités mettent hors d'état de se suffire;

Elle procure aux ouvriers qui ont fait une invention utile les moyens de payer les annuités de leurs brevets.

Les membres de la Société peuvent concourir pour les prix qu'elle propose. Les membres du Conseil d'administration sont exclus de tous les concours.

La Société d'Encouragement a commencé la quatrième série de son *Bulletin* en 1886.

Le *Bulletin* contient :

1° Les procès-verbaux du Conseil d'administration, les mémoires et rapports adoptés par ce Conseil, des communications écrites et des extraits de la correspondance imprimée;

2° Des chroniques destinées à faire connaître les découvertes et les procédés qui intéressent le commerce et l'industrie du pays;

3° Des articles de fond se composant d'extraits de voyages industriels, de dissertations sur des sujets scientifiques applicables à l'industrie, de notices, mémoires et documents relatifs au commerce français et étranger, de descriptions de machines nouvelles ou peu connues, etc., etc.

Le *Bulletin* est adressé, franc de port, à MM. les Sociétaires.

Chaque année de ce *Bulletin* forme un volume in-4° et contient des planches, ainsi qu'un grand nombre de gravures intercalées dans le texte.

Par délibération du Conseil, en date du 1er juin 1864, il a été décidé que les membres de la Société prendraient désormais les titres suivants :

1° Donateurs. — Membres perpétuels. — Ils reçoivent le *Bulletin* de la Société à perpétuité. Ce droit est transmissible soit à un établissement public, soit à un établissement reconnu comme étant d'utilité publique, soit enfin à un membre de la Société, ou à une personne qui sera admise à en faire partie, suivant les formalités ordinaires, après la transmission. — La cotisation est de 1000 francs une fois payés.

2° Membres souscripteurs a vie. — Ils reçoivent, pendant leur vie, le *Bulletin* de la Société. — La cotisation est de 500 francs une fois payés.

3° Membres ordinaires. — Ils sont soumis à la cotisation annuelle de 36 francs, et reçoivent également le *Bulletin* de la Société.

Les noms des membres perpétuels et des membres à vie figurent en tête de la liste des membres de la Société, avec ceux de ses bienfaiteurs.

Les donations et souscriptions perpétuelles ou à vie sont capitalisées; le capital en est inaliénable : elles forment des chapitres spéciaux au budget de la Société.

Paris. — Typographie Chamerot et Renouard, 19, rue des Saints-Pères.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Eng 00.
Rapport fait par M. A. Barbet au no
Cabot Science
006914319
3 2044 092 022 789

Digitized by Google